

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Katedra textilních a jednoúčelových strojů**

Obor 2302 R022 Stroje a zařízení

Zaměření Stavba strojů

**Zařízení pro kontrolu reakční síly  
pístnice na stroji pro páskování tlumičů**

Device for reaction force checking implemented on strapping  
machine

Věra Kvapilová

2012

Vedoucí bakalářské práce:  
Konzultant bakalářské práce:

**doc. Ing. Martin Bílek, PhD.**  
**Ing. Miroslav Hort**



## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Jméno a příjmení	<b>Věra Kvapilová</b>
Studijní program	B 2341 Strojírenství
Obor	2302 R022 Stroje a zařízení
Zaměření	Stavba strojů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

### **Zařízení pro kontrolu reakční síly pístnice na stroji pro páskování tlumičů**

#### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce doporučené metody pro vypracování)

1. Provedte analýzu současného stavu na stávajícím výrobním zařízení.
2. Navrhněte možné varianty rozšíření stávajícího zařízení o kontrolu reakční síly pístnice.
3. Konstrukčně zpracujte nejvhodnější řešení rozšíření funkce stroje.
4. Na základě PFMEA analýzy identifikujte místa možného vzniku vad ve výrobě u vybraného řešení

Forma zpracování bakalářské práce:


- průvodní zpráva: **35 stran formát A4**
- grafické práce: **výkres sestavení, výrobní výkresy vybraných součástí**

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

- Brát, V. – Rosenberg, J. – Jáč, V.: Kinematika. SNTL Praha 1987
- Ďaďo Stanislav, Kreidl Marcel: Senzory a měřicí obvody. Monografie ČVUT, Praha 1996.
- Noskievič, a kol.: Mechanika tekutin, SNTL, Praha, 1987
- Pešík, L.: Části strojů, TUL Liberec, 2001
- Prášil, L.: Části a mechanismy strojů, TUL Liberec, 1988

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Bílek, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: **Miroslav Hort**

  
prof. Ing. Jaroslav Beran, CSc.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan FS

V Liberci dne 26.6.2011

## Čestné prohlášení

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo.

Prohlašuji, že má bakalářská práce je ve smyslu autorského zákona výhradně mým autorským dílem.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Prohlašuji, že jsem do informačního systému STAG vložil/a elektronickou verzi mé bakalářské práce, která je identická s tištěnou verzí předkládanou k obhajobě a uvedl/a jsem všechny systémem požadované informace pravdivě.

V Liberci dne: 5.1.2012

.....  
Věra Kvapilová

## **Poděkování**

Za pomoc při vypracování bakalářské práce, bych chtěla poděkovat především svému vedoucímu práce doc. Ing. Martinu Bílkovi, PhD. Děkuji také firmě Monroe Czechia, s.r.o. a především konzultantovi BP panu Ing. Miroslavu Hortovi za poskytnutí potřebných informací a cenné odborné rady.

#### ABSTRAKT:

Cílem této bakalářské práce je konstrukční návrh rozšíření stroje páskování zadních automobilových tlumičů o kontrolu reakční síly pístnice. Kontrola reakční síly pístnice prokazuje přítomnost správného tlaku plynného media (dusíku) v tlumiči. V práci je navržen nový konstrukční uzel - měření reakční síly pístnice a popsány potřebné úpravy ostatních částí stroje.

#### ABSTRACT

The aim of this thesis is design of extension of strapping machine for shock absorbers function by rod reaction force checking. This check proves correct preassure of nitrogen inside the shock absorber. New part of the machine for checking the rod reaction force is added and additional necessary changes of the machine are done.

#### KLÍČOVÁ SLOVA

Jednouúčelový stroj, měření síly, automobilový tlumič

#### KEY WORDS

Single-purpose machine, force measurement, shock absorber

## Obsah

1	Úvod .....	7
2	Popis funkce tlumiče .....	8
2.1	Dvouplášťový .....	9
2.2	Jednoplášťový .....	11
3	Popis současného stavu stroje .....	13
3.1	Rám stroje, základací lůžka a stavitelný doraz .....	13
3.2	Pneumatický válec .....	15
3.3	Bezpečnostní prvky stroje .....	15
3.4	Ostatní .....	16
4	Návrh možných variant rozšíření stroje .....	17
4.1	Uzel měření reakční síly .....	18
4.1.1	Možné způsoby měření síly .....	18
4.1.2	Umístění a uchycení senzoru .....	21
4.1.3	Volba typu senzoru .....	21
4.2	Pneumatický válec .....	24
4.3	Návrh základacích přípravků a způsobu detekce přítomnosti dílu .....	26
4.3.1	Volba nejvhodnějšího zakládání .....	28
4.3.2	Volba způsobu uchycení základacích přípravků .....	30
4.3.3	MKP analýza základacího přípravku .....	32
4.4	Stavitelný doraz .....	34
5	Popis konstrukčního řešení .....	35
6	FMEA .....	38
7	Ekonomický rozbor .....	40
8	Závěr .....	41
9	Seznam použité literatury .....	42

Cílem této bakalářské práce je předložit konstrukční návrh rozšíření stroje na páskování zadních tlumičů pérování o kontrolu reakční síly tlumiče. Podnětem pro změnu je rozšíření výrobního portfolia o nový typ jednoplášťového tlumiče, u kterého je tato kontrola standardně požadována. Plánovaná úprava stroje umožní výrobu nového typu na stávajícím výrobním zařízení bez nutnosti pořízení nového stroje.

Při výrobě tlumičů se provádí 2 druhy kontrol síly. Zaprvé kontrola útlumových hodnot - závislost síly na rychlosti pohybu pístnice. Tato zkouška simuluje funkci tlumiče ve vozidle a ověřuje funkční požadavky zákazníka.

Dále je kontrolována statická reakční síla tlumiče, která se měří v klidu ve stlačené poloze tlumiče. Tato kontrola kontroluje tlaku plynného media (dusíku) v tlumiči. Ten je nezbytný pro správnou funkci tlumiče. Na tuto kontrolu se zaměřuje tato bakalářská práce.

Pro snazší pochopení problematiky je v úvodu práce přehled základních typů automobilových tlumičů pérování, jejich konstrukce, funkce a způsob výroby. Následuje popis současného stavu stroje, návrhy možných variant řešení jednotlivých konstrukčních uzlů a výběr finálního řešení. To je v práci podrobně popsáno.

Zadavatelem práce je firma Monroe Czechia, s.r.o. Hodkovice. Tato firma je součástí nadnárodní společnosti Tenneco. Společnost Tenneco zahrnuje více než 80 výrobních závodů po celém světě, zaměstnává přibližně 22 tisíc zaměstnanců. Hlavními výrobky společnosti jsou systémy tlumení (zahrnující zejména přední a zadní tlumiče pérování, pružiny, elastomery) a kompletní výfukové systémy. Mezi nejznámější značky společnosti patří v oblasti tlumení Monroe a pro výfukové systémy Walker a Gillet.

V závodě v Hodkovicích začala výroba automobilových komponent v roce 1948. V roce 1952 byla firma začleněna do státního podniku Autobrzdy Jablonec, která se v roce 1992 transformovala na akciovou společnost Ateso. V roce 1996 se stal závod v Hodkovicích součástí skupiny Tenneco a vznikla společnost s obchodním názvem Monroe Czechia s.r.o.

V současné době firma zaměstnává ca 500 zaměstnanců ve dvou divizích - Ride control (tlumení) a Emission control (výfukové systémy). Hlavními výrobky společnosti jsou zadní tlumiče pérování a výfuky.



## 2 POPIS FUNKCE TLUMIČE

Následující kapitola je zpracována na základě publikací [5] a [6] a uvádí přehled základních typů tlumičů, jejich části, funkci a způsob výroby.

Tlumiče pérování jsou součástí systému odpužení automobilu. Ten se výrazným způsobem podílí na zajištění jízdního komfortu, ovladatelnosti a kontroly nad vozidlem. Pneumatiky a pružiny absorbují nárazy způsobené nerovnostmi vozovky, úkolem tlumičů je utlumit výkyvy a kmitání v pružinách vozu, pohltnout vibrace a zabránit rozkmitání nápravy vozidla. Snahou je zajistit co nejlepší, pokud možno nepřerušovaný, styk kol s vozovkou, který je nezbytný k zajištění vysoké jízdní bezpečnosti (přenos brzdných a hnacích sil, přenos bočních sil při zatáčení). Odpružení zároveň zabraňuje přenosu vibrací na karoserii vozu a tím se snižuje opotřebení součástí vozu a zvyšuje pohodlí posádky.

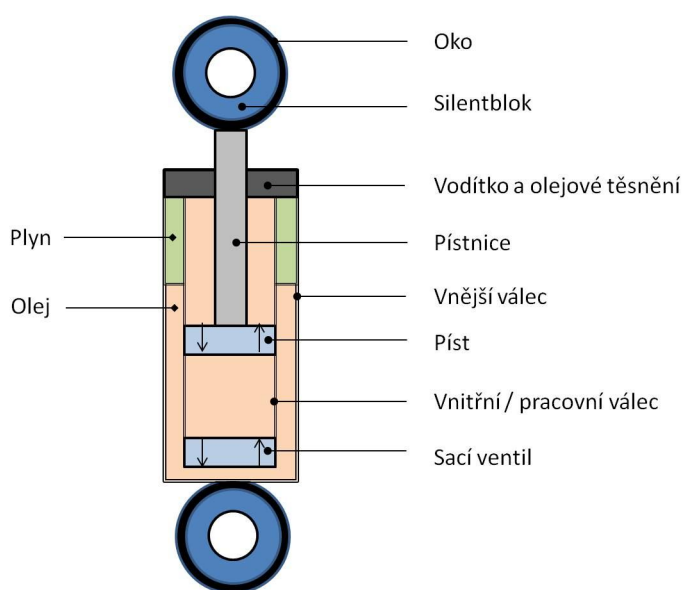
První tlumiče se objevily na přelomu devatenáctého a dvacátého století s rozvojem automobilové dopravy. Vzhledem k vyšším rychlostem, které vozidla dosahovala v porovnání s dříve používanými povozy taženými koňmi, vzrostla potřeba lepší kontroly nad vozidlem a jeho ovladatelnosti. Do té doby byly k odpružení používané pouze listové pružiny.

První tlumiče využívaly k tlumení tření mezi k sobě stlačenými disky. V současnosti se používají výhradně hydraulické tlumiče, dříve pákové, dnes teleskopické. K tlumení dochází hydraulickým odporem při průtoku kapaliny skrz ventily. Pákové tlumiče využívají páku, která pohybuje dvojicí pístů. V teleskopických tlumičích se pohybuje píst válcem tlumiče. Dva základní typy teleskopických tlumičů jsou dvoupplášťový a vysokotlaký jednopplášťový. Rozdíl mezi nimi je v umístění prostoru s plynem pro vyrovnávání změn objemu oleje (kvůli zasouvání / vysouvání pístnice a kvůli teplotním změnám). Jednopplášťový tlumič má olejovou i plynovou komoru v jednom válci, dvoupplášťový má druhý válec vně pracovního a vyrovnávací komora je mezi oběma válci.

Dále je tlumiče možné dělit na přední a zadní. Zadní tlumiče mohou být jednopplášťové i dvoupplášťové, přední jen dvoupplášťové. Tato práce se bude věnovat zadním tlumičům.

## 2.1 DVOUPLÁŠŤOVÝ

Nákres dvouplášťového tlumiče je na obr. 1. Dvouplášťový teleskopický tlumič se skládá z dvojice soustředných válců (vnějšího a vnitřního, resp. pracovního). Pístnice s ventilem se pohybuje v pracovním válci, který je naplněn olejem. Olej je protlačován otvory ve ventilu, vzniká hydraulický odpor, který je příčinou vzniku tlumicích sil. Po zatlačení pístnice do pracovního válce je přebytečný olej (objem rovný objemu zatlačené části pístnice) vytlačován přes sací ventil do prostoru mezi pracovním a vnějším válcem. Tento prostor je z části vyplněn plynem, který změny objemu oleje vyrovnává. Změny objemu oleje vznikají kromě pohybu pístnice také teplotními změnami, způsobenými změnou teploty okolí i ohříváním při činnosti tlumiče (kinetická energie je přeměněna na tepelnou). Při roztahování tlumiče opět dochází k nasávání oleje z meziprostoru do pracovního válce. Olej a plyn nejsou navzájem odděleny, olej se udržuje ve spodní části tlumiče jen gravitací, proto je nutné používat tlumič jen ve svislé poloze, případně při sklonu maximálně 45°, tak, aby nemohlo dojít k nasátí plynu do pracovního válce tlumiče.



Obr.1 Dvouplášťový teleskopický tlumič - základní části

Tlumič je v horní části uzavřen vodítkem (vodícím pouzdem pístnice) a olejovým těsněním, které zabraňuje úniku oleje z tlumiče. Vodítko spolu s těsněním umožňuje odvzdušnění pracovního válce - v případě, že se do prac. válce dostane plyn je přes vodítko přetlačen do vnějšího válce, a také mazání pístnice.

Uvnitř tlumiče a na pístnici nad tělem tlumiče jsou plastové, pěnové, případně gumové dorazy, které chrání tlumič a zejména ventilovou sestavu v mezních polohách tlumiče.

Na spodní části vnějšího válce je navařeno oko, v něm je zalisované pryžové nebo plastové pouzdro (silentblok), které umožňuje uchycení tlumiče na čepu. Upevnění tlumiče v horní části je řešeno několika možnými způsoby. Buďto také okem, které je navařené na pístnici. Další možností jsou na pístnici navlečené gumové dorazy, které jsou umístěné pod a nad karoserií automobilu a zajištěné maticí. Upevňovací elementy zároveň tlumí mírné vibrace.

V dvouplášťových tlumičích jsou dva typy ventilů - ventilová sestava na pístnici a sací ventil, který odděluje pracovní a vnější válec.

Ventilová sestava ovlivňuje útlumové hodnoty hlavně ve fázi roztahování, kdy brzdí pohyb pružiny. Základem ventilové sestavy je píst, který je doplněn ventily a případně pružinami. K tlumení dochází při protlačování oleje skrz píst a ventily. Závislost tlumicí síly na rychlosti pohybu pístnice v tlumiči není lineární. Při malých rychlostech, tedy v situaci, kdy se automobil pohybuje po rovné silnici, protéká olej malými průtokovými ventily, díky kterým je tlumič relativně mekký. Při rázu a tedy velmi rychlém pohybu pístnice již průtok nestačí, po dosažení určité síly se ventily otevřou a olej proudí celými otvory v pístu. Na jejich počtu a velikosti a na tvrdosti ventilů a pružin závisí celková tvrdost tlumiče.

Základem ventilu je píst. Písty se odlišují průtokovými otvory - obsahují vždy dvě sady - jednu pro průtok při stlačení tlumiče, druhou pro roztahení tlumiče. Otvory jsou buďto soustředně na dvou průměrech - na větším pro stlačení, resp. na menším pro roztahení. Nebo na stejném průměru střídavě s hranou kolem otvorů, na kterou dosedají ventily a tím otvor uzavírají). Různou kombinací disků a pružin s různou přítlačnou silou na obou stranách pístu jsou dosaženy požadované útlumové charakteristiky. Při průtoku olejem dochází k ohýbání, případně odtlačování disků a tím k regulaci průtoku oleje.

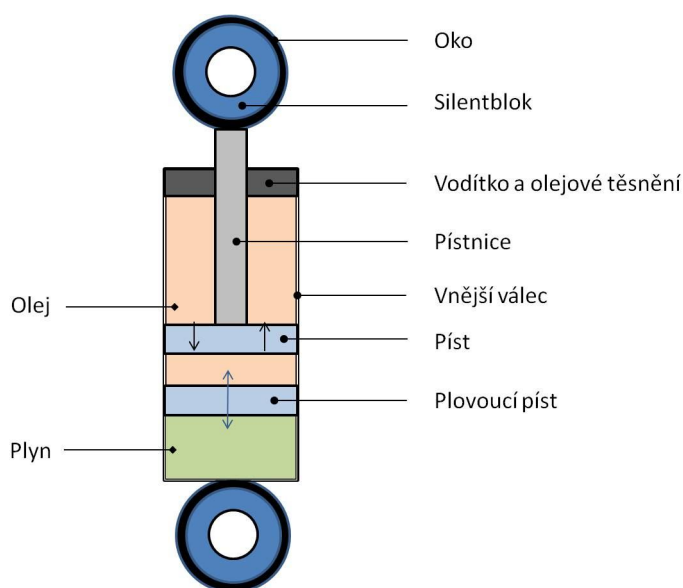
Sací ventil je výrazně jednodušší - obsahuje sací těleso, disky a pružiny. Má vliv na útlumové hodnoty při fázi stlačení, při roztahování tlumiče je průtok omezován jen velmi málo, aby nedošlo k roztržení vodního sloupce.

Výrobní proces tlumiče zahrnuje výrobu jednotlivých komponent, sestavení tlumiče, plnění olejem, plynování, dále je tlumič uzavřen zavalením okraje vnějšího válce a přes olejové těsnění naplynován. Tím je dokončena výroba těla tlumiče a následuje povrchová úprava a závěrečná kompletace. Při ní jsou na tlumič montovány modulární díly, které jsou nutné k upevnění tlumiče do automobilu. Tlumiče mohou být dodávány stlačené na zákazníkem požadovanou délku. To zákazníkovi usnadňuje montáž do

automobilu. V průběhu výroby tlumičů jsou prováděny potřebné kontroly, měření a zkoušky. Funkce tlumiče je odzkoušena na testeru útlumových sil tlumiče. Ty jsou závislé na rychlosti pohybu pístnice a měří se při různých, předem definovaných rychlostech.

## 2.2 JEDNOPLÁŠŤOVÝ

Tlumič má pouze jeden válec, z větší části je naplněný olejem, do této části je tak jako u dvouplášťového tlumiče zatlačována pístnice s ventilovou sestavou, průtokem oleje dochází k tlumení. Ve spodní části, která je oddělena plovoucím pístem je část s plynem (většinou dusíkem) s vysokým tlakem (2,5MPa). Ten umožňuje vyrovnání změn objemu v tlumiči (objem pístnice zatlačený do válce, změny teplot). Udrží olej pod stálým tlakem a zabraňuje jeho pění. Napění oleje by způsobilo snížení funkce tlumiče - "změkne" - kvůli snížení hustoty oleje. Odlišná od dvouplášťového tlumiče je konstrukce olejového těsnění a vodítka, těsnění je ve vnitřní části tlumiče, kvůli většímu tlaku v tlumiči. Schématický náčrt jednoplášťového tlumiče je na Obr. 2.



Obr.2. Jednoplášťový teleskopický tlumič - základní části

Výrobní proces se od dvouplášťového tlumiče liší hlavně operací plynování, která probíhá otvorem ve spodní části tlumiče. Část pod plovoucím pístem je naplněna dusíkem a otvor uzavřen rivetováním. Uzavření tlumiče v horní části je provedeno zalisováním válce na vodítko pístnice. Těsnost je v této části zajištěna O-kroužkem na vnější části vodítka.

Testování tlumiče probíhá obdobně jako u dvouplášťového. Standardním požadavkem je kontrola dynamických tlumících sil po naplynování tlumiče a kontrola statické reakční síly při finální kompletaci tlumící jednotky.

Výhody jednoplášťového tlumiče oproti dvouplášťovému je menší váha, při stejném průměru větší průměr pracovního válce a pístu, lepší chlazení, rychlejší odezva tlumiče díky stálému tlaku plynu. Nevýhodou je vysoký tlak v tlumiči.

### 3 POPIS SOUČASNÉHO STAVU STROJE

V další části práce bude popsán současný stav stroje na páskování tlumičů, jeho jednotlivé konstrukční uzly, které bude nutné upravit s ohledem na rozšíření funkce stroje. Foto a nákres současného stroje jsou na obrázcích 3 a 4.

Stroj č. 655 je součástí finální kompletační linky tlumičů pérování. Hlavní funkce stroje spočívá ve stlačení tlumiče tak, aby mohl být ručně zapáskován. (Páskování tlumičů se provádí z důvodu snazší montáže tlumiče u zákazníka). Další funkcí stroje je tisk identifikačního štítku s čárovým kódem.

Ve standardním cyklu stroje je nejprve obsluhou založen tlumič do zakládacích lůžek pro oka tlumiče. Ta obsahují senzory přítomnosti silentbloku v oku tlumiče. Pohybem pneumatického válce dojde ke stlačení tlumiče. Pneumatický válec je ovládán stlačením dvouručního ovládání (z důvodu bezpečnosti je nutné držet je po celou dobu pohybu válce). Obsluha navleče na tlumič pásku, nalepí štítek s čárovým kódem. Po stisku tlačítka dojde k naskenování čárového kódu, kontrole jeho správnosti a čitelnosti. Po OK výsledku dojde k opětovnému uvolnění tlumiče. Reakční síla tlumiče způsobí vyjetí pístitnice a zajištění pásky.

Čas cyklu operace páskování je 15 s, z čehož je strojní čas ca 5 s. Přeseřžení stroje mezi jednotlivými typy tlumičů probíhá v průměru 5 krát za směnu. Čas přeseřžení celé linky je do 5 min. Přeseřžení na operaci páskování je kratší než přeseřžení na ostatních strojích linky.

Stroj obsahuje několik základních konstrukčních uzlů, které zajišťují celkovou funkci stroje.

Jsou to mechanický rám, zakládací lůžka a pojezdy pro jejich pohyb, stavitelný doraz pro různou délku tlumiče, pneumatický válec a navazující pneumatické prvky, ovládací prvky stroje tiskárna a čtečka čárového kódu, bezpečnostní prvky stroje. V dalším popisu se zaměřím jen ty části stroje, které je potřeba upravit, aby bylo možné stroj dovybavit 100% strojní kontrolou.

#### 3.1 RÁM STROJE, ZAKLÁDACÍ LŮŽKA A STAVITELNÝ DORAZ

Základem stroje je pevný rám z hliníkových profilů, na kterém jsou umístěny funkční prvky stroje.

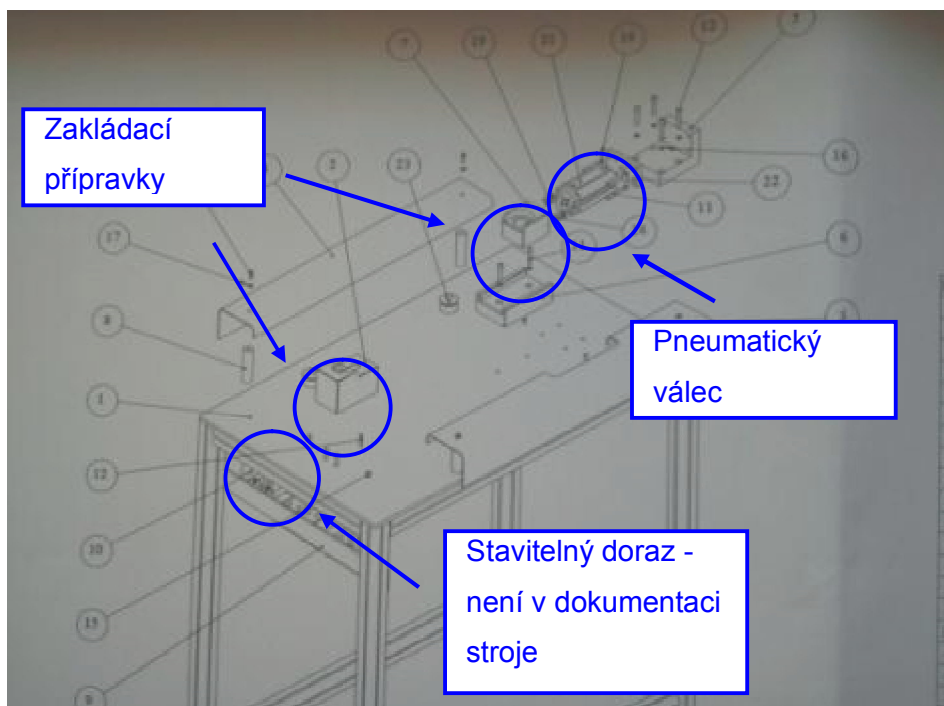
Mechanická část stroje se skládá ze zakládacích lůžek pro oka tlumiče, vedení pro pohyblivý zakládací přípravek a stavitelného dorazu pro nastavení požadované délky stlačení tlumiče.

Zakládací lůžka jsou uzpůsobena tvaru oka tlumiče a silentbloku. V zakládání je zahrnuta detekce přítomnosti silentbloku. Kovová páčka v zakládání je stlačena silentblokem, pootočí se a tím se přiblíží k indukčnímu senzoru. Inicializace čidel je nutnou podmínkou pro možné stlačení.

Poloha stavitelného dorazu je upravována stavěcím šroubem, jejichž zašroubováním, resp. vyšroubováním je možné stroj nastavit dle délky tlumiče (v roztažené poloze).



Obr. 3 Foto současného stavu stroje



Obr.4 Schéma současného stavu stroje s vyznačením jednotlivých konstrukčních uzlů (převzato z dokumentace stroje); Stavitelný doraz není v dokumentaci obsažen

### 3.2 PNEUMATICKÝ VÁLEC

Základní funkci stroje zajišťuje pneumatický válec FESTO ADVUL-32-50-P-A.

Při stisku dvojručních tlačítek dochází k jeho úplnému stlačení nebo uvolnění. Dosažení koncových poloh pohybu válce je hlídáno magnetickými čidly v drážce pneumatického válce.

Základní charakteristiky použitého válce jsou: zdvih 50mm, průměr válce 32mm, teoretická síla pohybu vpřed při 6 barech je 483N

### 3.3 BEZPEČNOSTNÍ PRVKY STROJE

Vzhledem k tomu, že stroj obsahuje pneumatický válec, je nutné zajistit bezpečnost obsluhy. Ta je řešena použitím dvouručního ovládání - obě tlačítka je nutné držet po celou dobu pohybu pístu.

Stroj je dále vybaven dvěma tlačítky "nouzový vypínač". Jejich stlačením dojde k vypnutí ovládacích obvodů a tím k zastavení veškerých pohybů stroje.



### 3.4 OSTATNÍ

Stroj je vybaven řídicím systémem Siemens S5 s textovým panelem, který umožňuje komunikaci obsluhy se strojem (volba typu tlumiče, zobrazování chybových hlášení stroje) a nastavení parametrů stroje.

Jednou z funkcí stroje je tisk štítku s čárovým kódem. Tiskárna obsahuje programy pro jednotlivé typy štítků (jsou nahrány v paměti tiskárny). Výběr požadovaného programu pro tisk štítku je proveden pomocí Textového panelu.

Tisk štítku je proveden po stlačení tlumiče (dojde k automatickému vytištění). Před uvolněním tlumiče dojde ke kontrole štítku scannerem. Je vyhodnoceno, zda čárový kód odpovídá zvolenému a zároveň, zda je čitelný. Funkce tisku štítků je volitelná a může být zapnuta nebo vypnuta pomocí dvoupolohového přepínače.

## 4 NÁVRH MOŽNÝCH VARIANT ROZŠÍŘENÍ STROJE

V další kapitole budou postupně rozebrány možné způsoby úprav jednotlivých konstrukčních uzlů a bude diskutován výběr nejvhodnějšího řešení.

Cílem této bakalářské práce je rozšíření funkce stroje na páskování tlumičů o měření reakční síly tlumiče a zároveň další nutné úpravy stroje s ohledem na výrobu nového typu tlumiče. Podnětem pro změnu je rozšíření výrobního portfolia na této kompletační lince o nový typ tlumiče. Jedná se o jednoplášťový tlumič, u kterého je v procesu finální kompletace standardně kontrolována reakční síla pístnice.

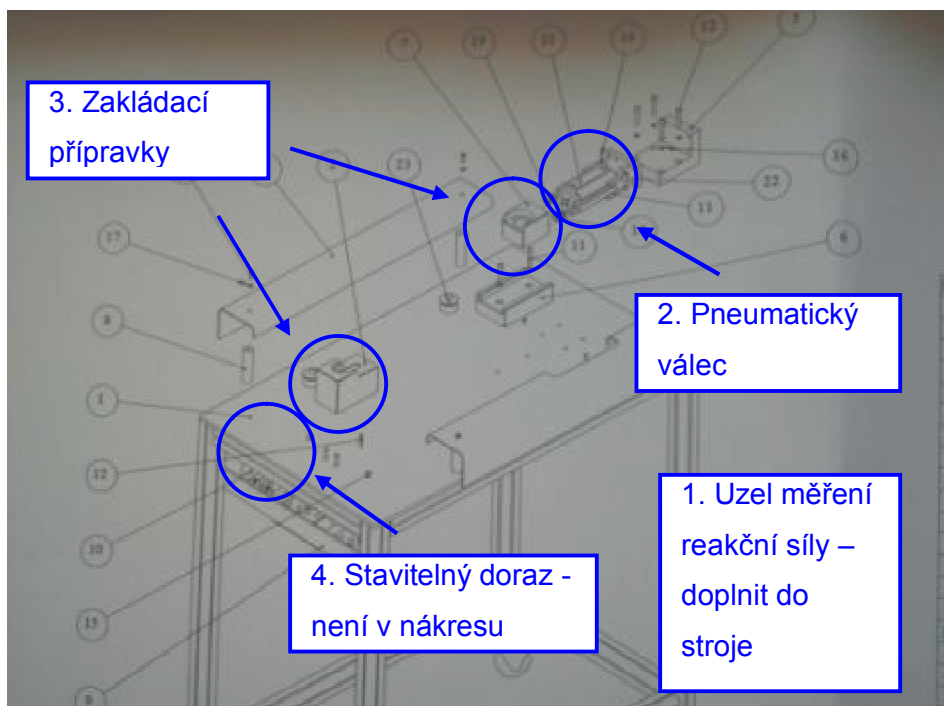
Požadavky na konstrukční řešení:

- doplnit kontrolu reakční síly
- zachovat možnost výroby všech stávajících typů a zároveň nových typů tlumičů
- zachovat všechny stávající funkce stroje a automatické kontroly
- snadné a rychlé přeseřazení mezi jednotlivými typy
- jednoduchá konstrukce
- co nejnižší výrobní náklady

V návrhu se budu soustředit jen na některé konstrukční uzly stroje, které bude nutné upravit / změnit. Jsou to:

1. rozšíření stroje o uzel měření reakční síly
2. pneumatický válec
3. zakládací přípravky
4. stavitelný doraz

Budou řešeny v pořadí uvedeném výše. Jednotlivé uzly jsou naznačeny na Obr. 5.



Obr. 5 Konstrukční uzly stroje

#### 4.1 UZEL MĚŘENÍ REAKČNÍ SÍLY

Cílem této bakalářské práce je doplnění uzlu měření statické reakční síly tlumiče do stávajícího stroje. Statická reakční síla tlumiče závisí na tlaku uvnitř tlumiče. Její kontrola prokazuje, zda tlumič obsahuje správný tlak plynného media (dusíku), který je nezbytný pro správnou funkci výrobku. V procesu výroby dochází po naplynování tlumiče k dalším výrobním operacím, při kterých může ve výjimečných případech dojít k úniku dusíku z tlumiče. Proto je, na základě dlouhodobých zkušeností z výroby tlumičů, požadována kontrola této síly. Po stlačení tlumiče o danou délku je vyhodnocována reakční síla, kterou je vytlačována pístnice z tlumiče. Tato síla je vyhodnocována v klidovém stavu tlumiče. V dalším textu budou uvedeny možné způsoby měření síly, navrženy varianty umístění uzlu měření reakční síly a zvolen vhodný snímač.

##### 4.1.1 MOŽNÉ ZPŮSOBY MĚŘENÍ SÍLY

Tato kapitola byla zpracována na základě publikace [2].

K měření síly je možné použít různých typů senzorů, jejichž princip je většinou založen na měření deformačních účinků síly. Dva základní nejčastěji používané principy jsou měření deformace pružného členu (tenzometrické snímače) a piezoelektrické vlastnosti některých látek.

## Tenzometrické snímače

U těchto typů snímačů se síla převádí na deformaci pružného měřicího členu a ta je měřena pomocí odporových tenzometrů. Přesnost měření závisí významně na volbě vhodného měřicího členu a jeho vlastnostech. Je třeba dodržet následující požadavky: měřicí člen je deformován jen pružnými deformacemi, lineární průběh deformace v rozsahu měření, směrovost, minimální teplotní roztažnost.

Odporové tenzometry využívají závislost elektrického odporu na délce a průřezu vodiče. Elektrický odpor vodiče závisí přímo úměrně na jeho délce a měrném elektrickém odporu materiálu vodiče a nepřímo úměrně na průřezu vodiče.

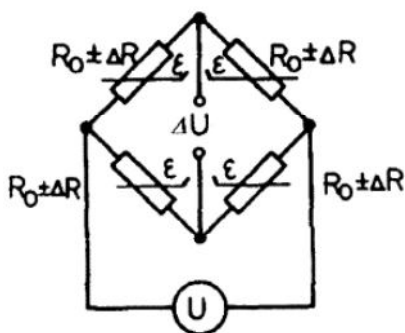
$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

kde  $R$  je elektrický odpor vodiče v  $\Omega$ ;  $\rho$  měrný elektrický odpor v  $\mu\Omega\text{m}$ ;  $l$  délka vodiče v metrech a  $S$  průřez vodiče v  $\text{mm}^2$ .

Při deformaci tenzometru dojde k deformaci vodičů v něm obsažených (tedy délky a průřezu), tato změna vyvolá změnu el. odporu a ta vyvolá změnu protékajícího proudu.

V praxi se používají dva druhy tenzometrů: polovodičové a kovové. Polovodičové jsou ve srovnání s kovovými levnější, nevýhodou je velký vliv změn teplot a nelineární průběh relativní změny odporu, kovové tenzometry mají průběh relativní změny odporu přibližně lineární.

Změna el. odporu závisí ve velké míře na teplotě, snížení této závislosti je u tenzometrů částečně řešeno použitím vhodného materiálu a jeho tepelného zpracování, dále je kompenzována zapojením měřicích a kompenzačních tenzometrů v můstku.



Obr.5 Plný můstek Převzato z [2]

Na obrázku 5 je znázorněn tzv. plný můstek - to je případ, kdy můžeme pro měření použít 4 tenzometrů. 2 z nich musí být namáhány na tah a 2 na tlak. Pak dojde ke kompenzaci vlivu teploty a ta se na výstupní změně napětí neprojeví.

V praxi není vždy možné upevnit na pružný člen 4 tenzometry, pak se do můstku zapojují kompenzační tenzometry, které jsou ve stejných podmínkách jako měřicí tenzometr / tenzometry, ale nejsou namáhány.

Dále je třeba vyloučit vliv deformací měřicího členu v jiném než měřeném směru. to je možné vhodnou geometrií měřicího členu, vhodným umístěním tenzometrů a opět můstkovým zapojením. Zároveň je třeba dbát na to, aby nevhodným namáháním měřicího prvku nedošlo k jeho mechanickému poškození.

#### Piezoelektrické snímače

Tyto snímače využívají piezoelektrických vlastností některých krystalů - při deformaci dochází k přesunu náboje v krystalu a tím dojde ke generování el. náboje. Tuto vlastnost má např. monokrystalický křemen. Vlastnosti těchto snímačů v porovnání s tenzometrickými snímači jsou shrnuty v Tab 1

Tab 1: Porovnání vlastností tenzometrických a piezoelektrických snímačů:

<b>Tenzometrické snímače</b>	<b>Piezoelektrické snímače</b>
Vhodné pro tah i tlak	Vhodné jen pro tlak (pro tah - speciální provedení)
Statické i cyklické zatížení	Obtížné využití pro statické zatížení
Malá přetížitelnost	Přetížitelnost
Snímač snižuje tuhost celku	Velká tuhost

Sílu je možné měřit využitím i jiných principů, ty ale nejsou v praxi příliš využívány. Kapacitní snímače síly využívají změny kapacity kondenzátoru v závislosti na vzdálenosti elektrod. Magnetické snímače síly jsou založeny na změně magnetické vodivosti feromagnetika při jeho deformaci. U indukčních snímačů síly dochází po deformaci k zasunutí feromagnetického jádra do cívky a tím ke změně její indukčnosti.

Pro měření statické síly tlumiče bude nejvhodnější použít tenzometrický snímač.

#### 4.1.2 UMÍSTĚNÍ A UCHYCENÍ SENZORU

Uzel měření reakční síly je možné doplnit buďto na pravou stranu stroje, kde je umístěn pneumatický válec nebo na levou stranu, kde je umístěn stavitelný doraz. Pro měření reakční síly je nutný volný pohyb zakládacího přípravku, který přenáší sílu z tlumiče na tenzometr. Tento požadavek by na levé straně stroje (na straně se stavitelných dorazem) znamenal nutnost doplnění vedení pro levý zakládací přípravek.

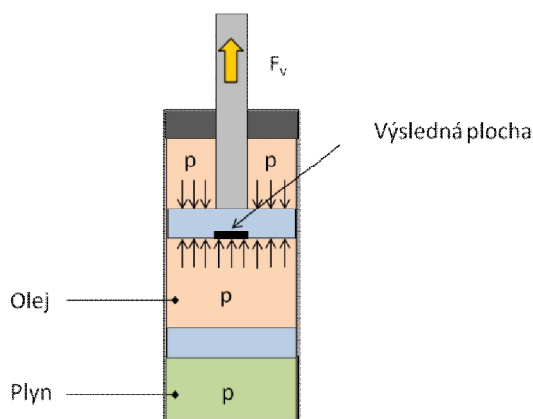
Umístění na stranu s pneumatickým válcem se jeví výhodnější z důvodu snazší instalace. Tenzometr bude umístěn mezi pneumatickým válcem a zakládacím přípravkem. Zakládací přípravek musí mít vedení kvůli pohybu při stlačování tlumiče.

Při konstrukci uzlu měření reakční síly je nutné zvažovat ochranu tenzometru proti přetížení. Ochranu je možné řešit buďto výběrem tenzometru s ochranou proti přetížení nebo doplněním dodatečného mechanického dorazu. Jeho rozměry by měly zajistit, aby maximální stlačení tenzometru bylo vždy menší než výrobcem uvedená hodnota. Do programu stroje bude vhodné na začátek každého výrobního cyklu vložit kontrolu tenzometru - síla tenzometru bez zatížení musí být nulová.

#### 4.1.3 VOLBA TYPU SENZORU

Pro určení vhodného typu senzoru je nutné určit sílu, kterou je potřebujeme měřit.

Dle známého vzorce je síla  $F$  rovna součinu plochy a tlaku. V klidovém stavu se ve všech částech tlumiče tlaky vyrovnají. Na obou stranách pístu působí stejný tlak, na straně pístnice působí tlak na plochu menší o průřez pístnice. To způsobuje, že je pístnice vytlačována ven z tlumiče. Viz Obr.6.



Obr. 6 Vysvětlení působení výtlačné síly

V tomto případě:

$$F = S_p \cdot p - (S_p - S_R) \cdot p = S_R \cdot p$$

kde  $S_p$  ... plocha pístu [m<sup>2</sup>]  
 $S_R$  ... průřez pístnice [m<sup>2</sup>]  
 $p$  ... tlak v tlumiči [Pa]

Výtlačná síla je tedy dána součinem plochy průřezu pístnice (která je stálá) a tlaku v tlumiči. Ten se mění spolu se změnou objemu plynu v tlumiči, která může být způsobena pohybem pístnice a / nebo změnou teploty. Při zasouvání pístnice dochází ke zmenšení objemu plynu v tlumiči o objem zasunuté části pístnice a tím ke zvýšení tlaku. Při zvýšení teploty v tlumiči (způsobené vnějšími vlivy a přeměnou kinetické energie na tepelnou při práci tlumiče) dochází ke zvýšení tlaku v tlumiči.

Tyto vlivy vyjadřuje stavová rovnice plynů.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

kde  $p$  ... tlak v tlumiči v klidovém stavu [Pa]  
 $V$  ... objem plynu v tlumiči [m<sup>3</sup>]  
 $T$  ... termodynamická teplota [K]

Dle vztahů uvedených výše provedeme výpočet statické reakční síly pro konkrtní typ tlumiče.

Vstupní hodnoty:

$$V_1 = 64\,580 \text{ mm}^3$$

$$p_1 = 2,5 \text{ MPa } (+/- 0,2 \text{ MPa}) \Rightarrow p_1 = 2,3 - 2,7 \text{ MPa}$$

$$T_1 = 293 \text{ K}$$

$$T_2 = 308 \text{ K}$$

kde  $V_1$  ... objem plynu v klidovém stavu při úplném roztažení tlumiče  
 $p_1$  ... tlak plynu v klidovém stavu při úplném roztažení tlumiče (na tento tlak je tlumič plynován při výrobním procesu); pro výpočet síly pro výběr vhodného tenzometru uvažujeme maximální tlak, tedy 2,7 MPa  
 $T_1$  ... teplota při plynování tlumiče (probíhá v klimatizované výrobní buňce se stálou teplotou 20°C)

$T_2$  ...maximální teplota ve výrobní hale, při kontrole reakční síly tlumiče v letních měsících (35°C)

Výpočet:

Nejprve vypočteme objem ( $V_2$ ) a tlak plynu ( $p_2$ ) po stlačení tlumiče o zdvih pneumatického válce, tj. o 50 mm. Předpokládejme nejdříve

$$V_2 = V_1 - V_{R50mm} = V_1 - \frac{\pi \cdot d_R^2}{4} \cdot l = 64580 - \frac{\pi \cdot 11^2}{4} \cdot 50 = \mathbf{59\,828\,mm^3}$$

kde  $V_{R50mm}$  ... zmenšení objemu zasunutím pístnice o 50mm  
 $d_R$  ... průměr pístnice

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{V_2 \cdot T_1} = \frac{2,7 \cdot 64580 \cdot 308}{59828 \cdot 293} = \mathbf{3,1\,MPa}$$

kde  $T_2$  ... zmenšení objemu zasunutím pístnice o 50mm

Dále vypočteme statickou sílu při stlačení tlumiče z roztažené délky o 50 mm (tedy reakční sílu, která bude měřena na tlumiči)

$$F_{St50mm} = S_R \cdot p_2 = \frac{\pi \cdot d_R^2}{4} \cdot p_2 = \frac{\pi \cdot 11^2}{4} \cdot 3,1 = \mathbf{291\,N}$$

Předpokládaná reakční síla bude 291N. Tato síla je vypočtena jen pro účely výběru vhodného tenzometru. Při instalaci stroje proběhne kalibrace pomocí hraničních vzorků tlumičů s tlakem dle tolerancí a mimo tolerance. Vyhodnocování reakční síly bude probíhat porovnáním s hodnotami těchto tlumičů. Tím se vyloučí vliv nelinearity měření tenzometru při měření velmi odlišných sil - budou měřeny jednoplášťové tlumiče s reakční silou ca 300N a dvouplášťové tlumiče s reakční silou 25N. Zároveň se tím z měření vyloučí vlivy tření při pohybu součástí ve stroji.

Zadavatel požaduje tenzometr s typovým označením S2 od firmy HBM. Firma používá stejné senzory pro obdobné aplikace kvůli minimalizaci skladu náhradních dílů. Volíme tenzometr S2 500N. Dle údajů výrobce má uvedený typ tenzometru mechanickou ochranu proti přetížení do síly 3000N, v dalším výpočtu ověříme maximální dosahovanou sílu při stlačování tlumiče. V případě, že bude dostatečně menší než výrobcem uváděná maximální síla, nebude nutné doplňovat na stroj dodatečnou



mechanickou ochranu proti přetížení tenzometru. Tenzometr obsahuje na každé straně závit M8 pomocí, kterého bude upevněn na jedné straně k pneumatickému válci, na druhé straně k držáku zakládání.

Kromě tenzometru bude nutné do stroje doplnit také zesilovač, pro převod signálu z tenzometru na analogový signál, který je možné zpracovat řídicím systémem stroje.

## 4.2 PNEUMATICKÝ VÁLEC

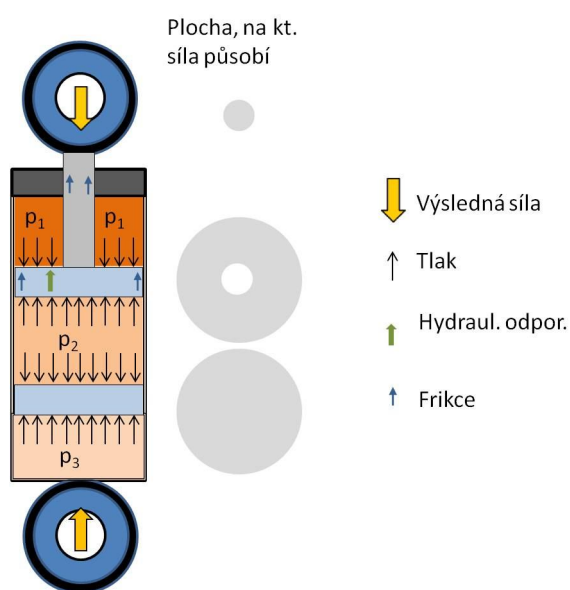
Dalším řešeným konstrukčním uzlem je pneumatický válec, který zajišťuje stlačení tlumiče do požadované polohy a jeho opětovné roztážení. Nový typ tlumiče je jednoplášťový, tedy tlumič s výrazně vyšší reakční silou než dosud vyráběné dvouplášťové tlumiče. Proto je nutné prověřit, zda je stávající pneumatický válec dostatečný / případně vybrat nový s dostatečným průměrem.

Pro určení potřebné velikosti pneumatického válce je nutné znát útlumové síly při stlačování tlumiče.

Útlumovou sílu tlumiče při pohybu pístu ovlivňují 3 složky:

1. Tlak v tlumiči
2. Hydraulický odpor průtoku oleje ventily tlumiče
3. Frikce mezi pístnicí a vodítkem a mezi pístem a pracovním válcem

Tlak působí neustále, hydraulický odpor a frikce se projevují pouze při pohybu pístnice. Přehled sil působících v tlumiči je ukázán na příkladu stlačování jednoplášťového tlumiče na Obr. 7



Obr.7 Síly působící v tlumiči při jeho stlačování

Útlumová síla tlumiče je určována počítačovými simulacemi a měřením. Nastavování útlumových hodnot probíhá postupnou volbou komponent ventilové sestavy a ověřováním hodnot měřením. Výpočet by znamenal zavedení několika okrajových podmínek a předpokladů, které se ve skutečnosti mění. Závislost síly na rychlosti pohybu pístnice není lineární. Pro potřeby určení potřebné síly pneumatického válce využiji zákazníkem požadované hodnoty pro daný tlumič při daných rychlostech.

Pneumatický válec se bude pohybovat přibližně rychlostí 0,1 m/s. Zákazníkem požadovaná útlumová síla pro nejbližší vyšší rychlost pohybu pístnice, tedy při 0,131 m/s je 670 - 950 N pro roztahování a 750 - 1070 N pro stlačování. Pro návrh dostatečného pneumatického válce uvažujeme nejvyšší hodnotu, tj. 1070 N.

Současný pneumatický válec má výrobcem uvedenou teoretickou sílu válce při 6 barech 483N. Není tedy dostatečný.

#### Výpočet potřebné velikosti pneumatického válce

Teoretickou sílu pneumatického válce můžeme určit ze vztahu pro výpočet tlakové síly

$$F = \frac{D^2 \cdot \pi \cdot p}{4}$$

kde

D ... průměr pneumatického válce

p ... tlak stlačeného vzduchu v rozvodech

Při výběru vhodného pneumatického válce je třeba zohlednit mechanickou účinnost 80 až 95% teoretické síly válce (dle [8]).

Potřebná síla, kterou musí vyvinout pneumatický válec:

$$F_V = \frac{F_R}{\eta} = \frac{1070}{0,8} = 1337,5N$$

kde

F<sub>R</sub> ... reakční síla tlumiče

η ... mechanická účinnost pneumatického válce.

Nyní můžeme vypočítat potřebný průměr pneumatického válce:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p_{Vzd}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1337,5}{\pi \cdot 0,5}} = 58,4mm$$

kde

p<sub>Vzd</sub> ... tlak vzduchu v rozvodech

$F_V$  ... síla, kterou vyvine pneumatický válec.

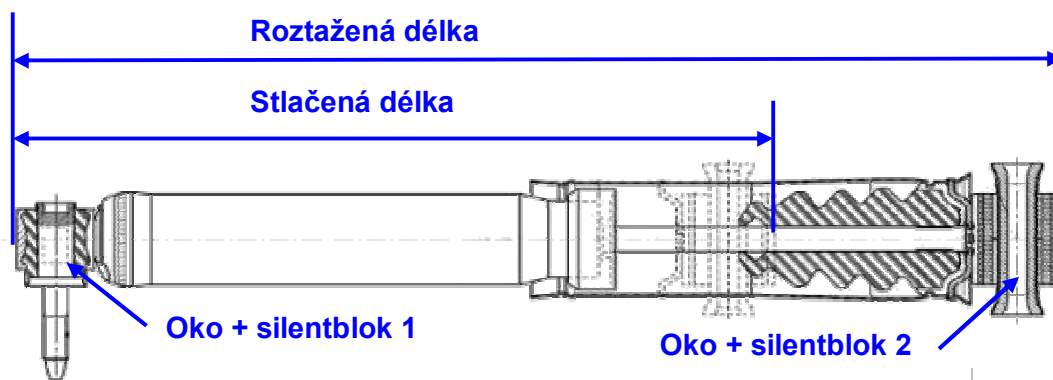
Minimální potřebný průměr pneumatického válce je 58,4mm. Nejbližší větší průměr vyráběného pneumatického válce je 63mm. Kvůli standardizaci a úspoře ve skladu náhradních dílů zadavatel používá pneumatické prvky výhradně od firmy Festo. Z nabídky této firmy volím pneumatický válec FESTO ADVUL-63-50-P-A. Základní charakteristiky jsou: průměr válce 63mm, zdvih 50mm, teoretická síla pohybu vpřed při 6 barech je 1870N. Pneumatický válec bude na stroj upevněn pomocí výrobcem dodávané příruby (FESTO FUA 63), která bude připevněna na držák pneumatického válce (ve tvaru „L“).

#### 4.3 NÁVRH ZAKLÁDACÍCH PŘÍPRAVKŮ A ZPŮSOBU DETEKCE PŘÍTOMNOSTI DÍLU

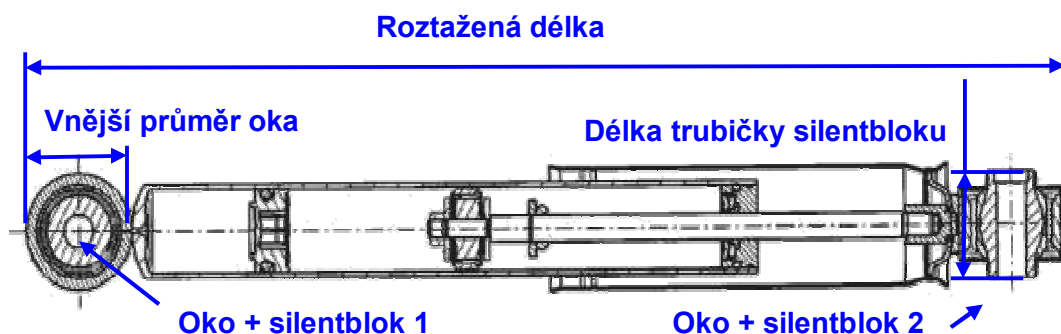
V této kapitole bude řešeno zakládání a upevnění dílů do stroje pro operaci stlačování, resp. měření reakční síly. Vzhledem k tomu, že nový typ tlumiče má velmi odlišné upevňovací prvky do automobilu (tedy oko a silentblok) v porovnání se současnými typy, bude nutné upravit také zakládací přípravky.

Při konstrukci nebo úpravě zakládacích přípravků je nutné dbát na to, že dosedací plochy pro oko/silentblok tlumiče nesmí způsobit poškození laku tlumiče, případně poškození silentbloku. Dále je na stávajícím stroji je v zakládacích přípravcích integrována kontrola přítomnosti silentbloků, které jsou nalisovány na předchozích operacích. Tuto kontrolu je nutné zachovat.

Na Obr. 8 a 9 jsou vyobrazeny výkresy současných a nového typu tlumiče. Na výkresech je patrná odlišnost v rozměrech, tvaru i natočení upevňovacích prvků. Pro všechny tlumiče, které jsou v současnosti vyráběny na stroji na páskování je platný jen jeden výkres - tlumiče se liší jen roztaženou délkou, stlačená délka po zapáskování je dána páskou a je pro všechny tlumiče stejná.



Obr:8 Výkres současného typu tlumiče



Obr. 9 Výkres nového typu tlumiče


Základní rozměry současných i nových typů tlumičů jsou uvedeny v tabulce 2.

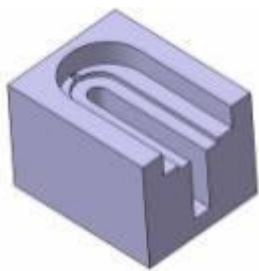
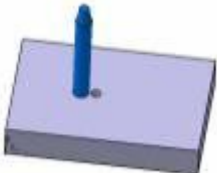
Tab. 2 Přehled rozměrů tlumičů

	Stávající typy	Nový typ
<b>Oko 1</b>		
vnější průměr	38,5 mm	50,0 mm
délka trubičky silentbloku	87,0 mm	42,0 mm
<b>Oko 2</b>		
vnější průměr	46,0 mm	58,0 mm
délka trubičky silentbloku	75,0 mm	46,0 mm
<b>Délka</b>		
Roztažená	520,4 - 545,2 mm	580,0 mm
Stlačená	502,5 mm	(530,0 mm)

Zakládací přípravky je možné řešit různými způsoby, univerzální pro všechny typy upevňovacích elementů, speciální pro každý typ, případně s výměnnou částí specifickou pro každý typ. Příklady možných návrhů řešení jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 Návrhy řešení zakládacích přípravků.

1. Originální přípravek pro každý typ tlumiče, resp.pro každou kombinaci oka tlumiče + silentbloku		
<b>Výhody</b> - Přesné umístění dílu - Jednoduchý přípravek	<b>Nevýhody</b> - Nutné přeseřizení - Vyšší náklady - výroba více přípravků - Nebezpečí poškození n. nutnost seřizování čidla kontroly přítomnosti silentbloku	

	při výměně přípravků	
2. <u>Výměnná vložka</u> pro konkrétní typ oka+silentbloku, základ společný		
<b>Výhody</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Přesné umístění dílu</li> <li>- Nejsou nutné celé přípravky, ale jen vložky</li> </ul>	<b>Nevýhody</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutné přeseřazení</li> <li>- Riziko opotřebení spoje + nedostatečná stabilita</li> </ul>	
3. <u>Společný přípravek</u> - profilovaný pro jednotlivé typy oka/silentbloku - dosedací plocha pro oko <u>válcová</u>		
<b>Výhody</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Není nutné přeseřazení</li> </ul>	<b>Nevýhody</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Složitý a méně masivní základací přípravek</li> <li>- Oko dosedá jen na malé ploše (pro různé průměry oka 1 přípravek)</li> <li>- Pro čidlo přítomnosti nutné najít společnou dosedací plochu pro všechny typy</li> </ul>	
4. <u>Společný přípravek</u> - přípravek ve tvaru <u>trnu</u> pro navlečení trubičky silentbloku		
<b>Výhody</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Není nutné přeseřazení</li> <li>- 100% kontrola přítomnosti silentbloku (navlečen na trn)</li> </ul>	<b>Nevýhody</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Použitelné jen pro silentbloky s průchozí trubičkou</li> <li>- Riziko poškození laku tlumiče (trn je kovový)</li> </ul>	

#### 4.3.1 VOLBA NEJVHODNĚJŠÍHO ZAKLÁDÁNÍ

V této části bude popsán postup výběru nejvhodnějšího tvaru základacích přípravků. Výběr byl proveden na základě vícekritériálního rozhodování. Tato metoda umožňuje porovnávání různých návrhů řešení, jejichž výběr ovlivňuje více faktorů. Při použití této metody jsou nejprve vybrána hodnotící kritéria, těm se přidělí váhy podle důležitosti a poté následuje hodnocení jednotlivých návrhů podle jednotlivých kritérií. V poslední

fázi výběru se vypočte vážený součet pro jednotlivé navržené varianty a je vybrána nejlepší z nich.

Vybraná hodnotící kritéria a jim přidělené váhy jsou uvedeny v následujícím seznamu:

<b>Kritérium</b>	<b>Váha</b>
1. Riziko poškození dílu (zejména poškození laku)	40
2. Jistota detekce přítomnosti	30
3. Čas přeseřízení	15
4. Trvanlivost základacího přípravku (masivnost, riziko poškození)	10
5. Univerzálnost pro budoucí změny (pro další nové typy)	5

Dále následuje hodnocení jednotlivých variant podle zadaných kritérií. Hodnocení podle jednotlivých kritérií bylo provedeno Metodou pořadí. To znamená, že navrhované varianty řešení byly seřazeny dle daného kritéria od nejlepšího k nejhoršímu.

Hodnocení je uvedeno v tabulce 4

Tab 4: Výběr základacích přípravků - hodnocení variant dle zadaných kritérií

	Váhy				
	40	30	15	10	5
	Poškození dílu	Detekce silentbloku	Čas seřízení	Trvanlivost	Univerzálnost
<b>1. Originální</b>	1,5	1	4	1	3
<b>2. Výměnná vložka</b>	1,5	2,5	3	4	2
<b>3. Univerzální</b>	3	4	1,5	2	4
<b>4. Trn</b>	4	2,5	1,5	3	1

Výsledné vyhodnocení bylo určeno váženým součtem pro jednotlivé varianty. Nejmenší součet znamená nejlepší variantu - viz Tab 5

Tab 5: Výběr základacích přípravků - celkové vyhodnocení

	Poškození dílu	Detekce silentbloku	Čas seřízení	Trvanlivost	Univerzálnost	Celkem
<b>1. Originální</b>	60	30	60	10	15	<b>175</b>
<b>2. Výměnná vložka</b>	60	75	45	40	10	<b>230</b>
<b>3. Univerzální</b>	120	120	22,5	20	20	<b>302,5</b>
<b>4. Trn</b>	160	75	22,5	30	5	<b>292,5</b>

Z uvedeného hodnocení vyplývá, že nejvhodnější je varianta 1, tedy originální přípravek pro každý typ silentbloku a oka. Ty budou vyrobeny z plastu, aby nedocházelo k poškození laku tlumiče. Jako materiál základání byl zvolen Murylon A GF od firmy Murtfeld, který je dostatečně pevný i houževnatý. Nemělo by tedy dojít

vymačkání nebo prasknutí zakládání ani při působení velkých sil při stlačování tlumiče. Riziko poškození zakládacího přípravku je ještě dále ověřeno pomocí Metody konečných prvků - viz kapitola 4.3.3.

---

#### 4.3.2 VOLBA ZPŮSOBU UCHYCENÍ ZAKLÁDACÍCH PŘÍPRAVKŮ

Vzhledem k tomu, že zakládací přípravky budou výměnné, je třeba vyřešit jejich upevnění k rámu stroje. Musí být zajištěno jisté a pevné spojení a zároveň možnost snadné a rychlé výměny při přeseřizování.

Při výběru řešení bylo přihlédnuto k prostorovému řešení stroje a k hlavním směrům působení sil. Na stroji jsou v přední a zadní části stroje kryty, které je vhodné z hlediska bezpečnosti a chránění kabelů senzorů zachovat. Ze stran jsou stavitelný doraz a pneumatický válec. Výměna přípravků je tedy možná pouze svrchu nebo ze středu (z prostoru mezi zakládacími přípravky).

Hlavní síly působí ve směru osy tlumiče. Pevné držáky jsou navrženy ve tvaru „L“, aby při stlačování tlumičů tvořily oporu pro plastové zakládání. U páskovaných tlumičů je třeba také dbát na to, že po uvolnění je délka kratší než při založení (je omezena páskou). To bude řešeno stejně jako na současném stavu stroje drážkou v zakládacím přípravku, která umožní posun čepu silentbloku. Zakládací přípravky musí být zajištěny i proti pohybu ve svislém směru, protože při vyjímání tlumiče by mohlo dojít k jejich vytažení ze stroje.

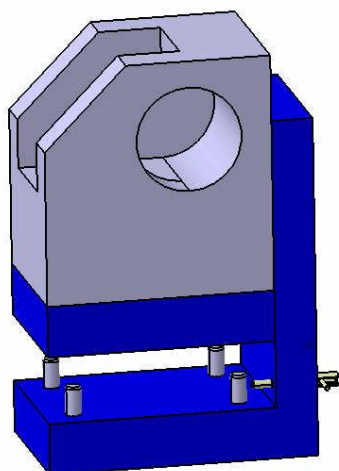
Spojení zakládacích přípravků s jejich držáky je možné např. pomocí šroubů, rybinové drážky nebo aretačních kolíků.

Spojení šrouby je pevné, ale náročné na přeseřizování (velká časová náročnost a nutnost použití nástrojů).

Spojení rybinovou drážkou je možné s nasouváním ve vodorovném směru se zajištěním pomocí aretačního čepu proto vysunutí.

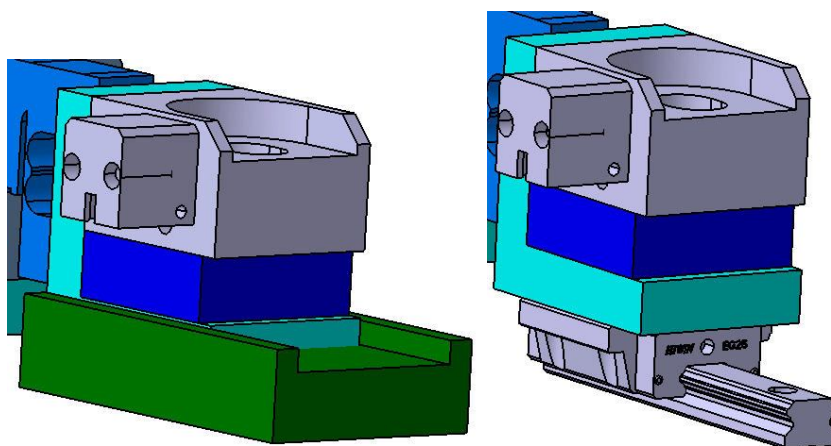
Jako nejvhodnější řešení se jeví použití aretačních kolíků na vodorovné desce držáku zakládání, na které bude nasazen zakládací přípravek. Pohybu ve svislém směru bude zabráněno aretačním čepem. Výhodou kolíků oproti rybinové drážce je snazší nasazení při přeseřizování a jednodušší výroba. Dále oproti rybinové drážce bude pevné spojení kolmé na působení největších sil, aretační čep bude bránit jen možnému vysunutí při vyjímání tlumiče, kdy je působící síla menší. U rybinové drážky by hrozilo

velké namáhání aretačního čepu a případně vysouvání základacího přípravku při roztahování tlumiče. Řešení způsobu uchycení je zobrazeno na obrázku 10.



Obr. 10 Přípravek s kolíky a aretačním čepem

Spojení pravého základacího přípravku a držáku ve tvaru L je také řešeno kolíky a aretačním čepem. Pro upevnění pravého držáku ve tvaru L bylo použito lineární vedení, které má minimální tření a zároveň zajistí fixaci zakládání ve svislém směru, což dosud použité plastové vedení ve tvaru U neumožňuje. Na obrázku 11 je porovnání obou způsobů.



Obr. 11 Porovnání plastového vedení ve tvaru U a lin. vedení

V základacích přípravcích je detekována přítomnost silentbloku. Čidla pro detekci se musí pohybovat zároveň s pohybem základacích přípravků, ale nemohou být umístěna přímo na nich, aby nebylo nutné odpojování při výměně přípravků. Budou upevněna na „L“ držácích zakládání. Vzhledem k tomu, že přítomnost silentbloků obou typů tlumičů je možné detekovat z boku, bude pro kontrolu přítomnosti použit optický senzor.



Navržen je světlovodný přístroj, který bude použit jako jednocestná závora. V pravém základacím přípravku bude zachován stávající princip - tedy otočení kovové páčky silentblokem po založení tlumiče a její přiblížení k indukčnímu senzoru. U obou senzorů bude do pracovního cyklu stroje zařazena kontrola funkčnosti senzoru - vyhodnocení, zda v průběhu cyklu nastanou obě polohy - sepnuto/rozepnuto. Před zahájením práce na stroji po seřízení bude funkce kontrolována založením tlumiče bez a se silentblokem.

---

#### 4.3.3 MKP ANALÝZA ZAKLÁDACÍHO PŘÍPRAVKU

Následující kapitola je zpracována na základě přednášek z předmětu PKPII - viz literatura [9].

Pro ověření pevnosti základacího přípravku byla použita MKP analýza. Pomocí ní by mělo být možné odhalit případné riziko poškození základacího přípravku.

MKP (Metoda konečných prvků) je numerická metoda, která umožňuje provést simulaci mechanických vlastností budoucího výrobku na jeho digitálním modelu. Je založena na diskretizaci modelu, tedy nahrazení nekonečného objemu modelu konečným počtem prvků konečných rozměrů. Zjišťované parametry jsou vyhodnocovány v jednotlivých uzlových bodech. Analytické řešení soustavy diferenciálních rovnic pro nekonečně malé elementy se převádí na soustavu algebraických lineárních rovnic pro jednotlivé uzlové body. Pro každý uzlový bod je sestaveno 15 rovnic (3 rovnice pro posuvy, 6 rovnic deformací a 6 rovnic napětí).

Postup výpočtu pomocí MKP je následující:

1. Vytvoření konstrukčního návrhu v CAD
2. Diskretizace modelu
3. Definice vlastností modelu (materiálové vlastnosti, okrajové podmínky, zatížení)
4. Volba kritérií (kinematická, dynamická, teplotní analýza), výběr neznámých funkcí (deformace nebo napětí, případně oboje)
5. Vlastní výpočet soustavy algebraických lineárních rovnic pomocí SW
6. Prezentace výsledků - většinou v grafické podobě + výpis důležitých hodnot napětí a deformace

Pro výpočet se používají různé metody snižování diskretizační chyby. Diskretizační chyba vzniká v důsledku řešení spojitého problému diskretizovaným modelem.

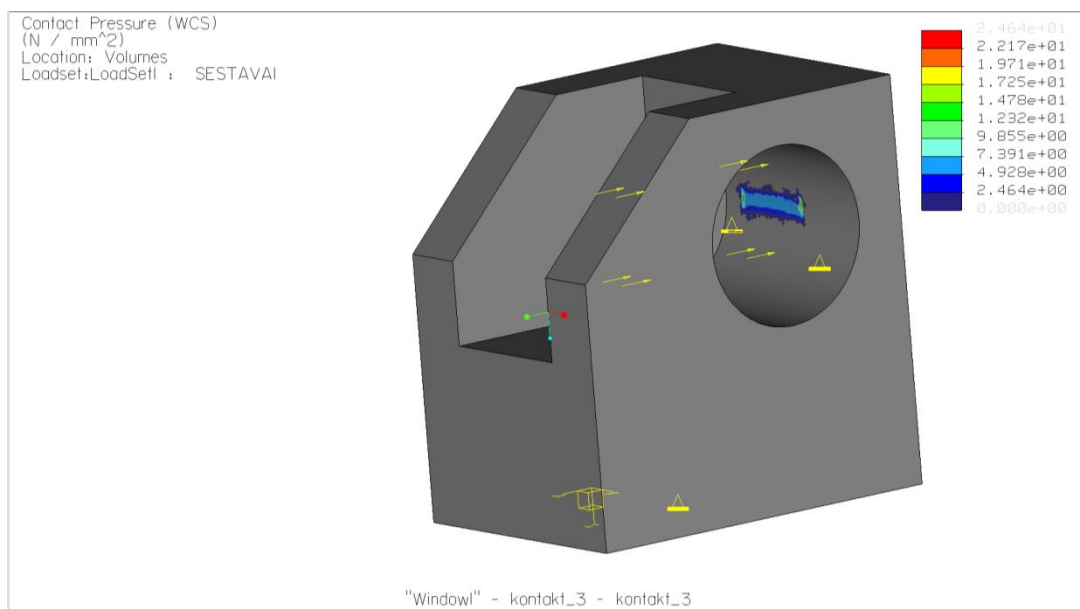
Postupným opakováním a zpřesňováním výpočtu se chyba zmenšuje. Možné metody snižování diskretizační chyby jsou:

1. H metoda - založena na zjemňování sítě, při zvoleném stupni aproximačního polynomu
2. R metoda - změna lokální hustoty sítě, při zvoleném počtu prvků a stupni aproximačního polynomu
3. P metoda - zvyšování stupně aproximačního polynomu při daném počtu prvků
4. HP metoda - současné zvyšování stupně aproximačního polynomu i počtu prvků

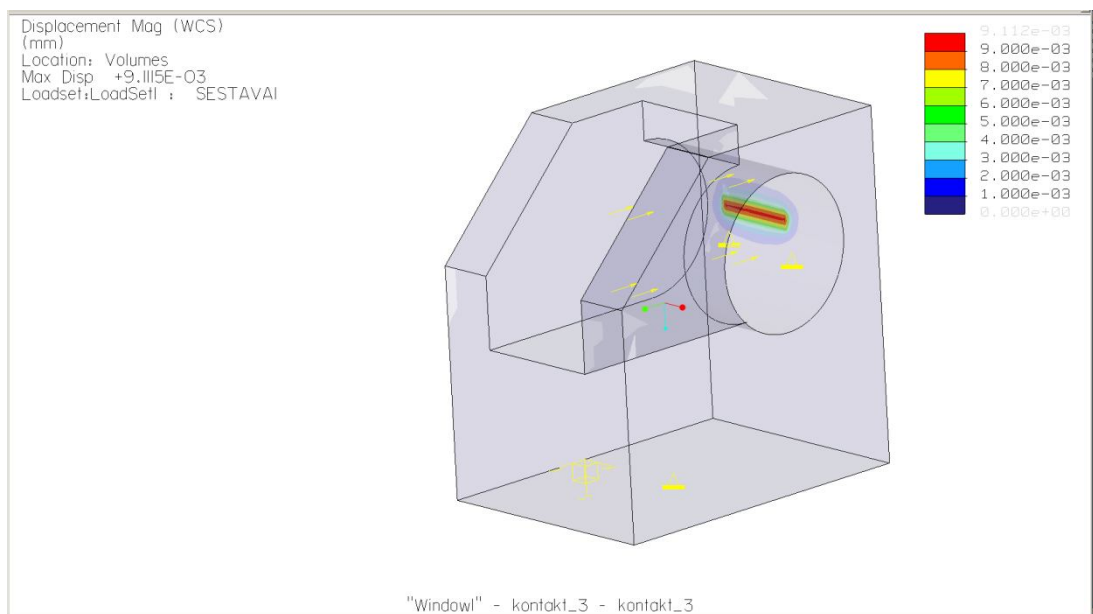
MKP analýza zakládacího přípravku byla provedena pomocí programu ProMechanika, která používá k výpočtu tzv. P metodu. Byla řešena jako kontaktní úloha (kontakt oka tlumiče se zakládacím přípravkem). Bylo uvažováno maximální zvolené zatížení 1000N ve směru osy tlumiče. Okrajové podmínky byly zadány geometrické - vazby zamezující pohybu zakládacího přípravku ve vodorovném a svislém směru a také rotace. Uvedené OP odpovídají fixaci zakládacího přípravku v držáku ve tvaru L.

Na obrázcích 12 - 14 jsou prezentovány výsledky analýzy. Výsledky ukazují nízký kontaktní tlak (110 MPa), velmi nízké hodnoty deformace (0,009mm) a téměř žádné napětí (58MPa).

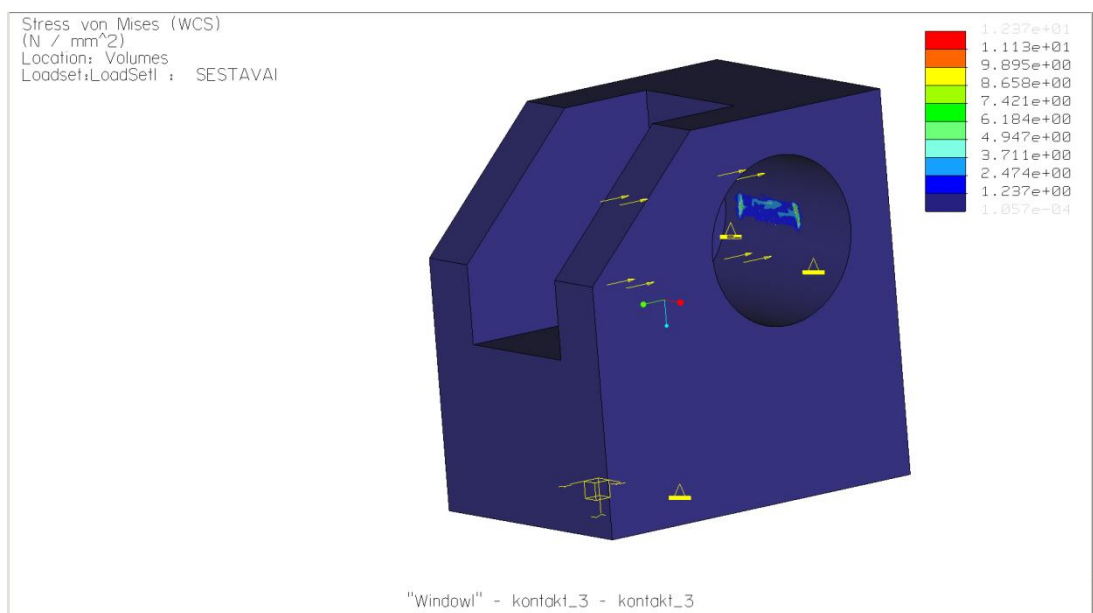
Realizovaný kontrolní výpočet tedy potvrdil vhodně navržený tvar zakládacího přípravku.



Obr. 12 MKP analýza výsledek - kontaktní tlak



Obr. 13 MKP analýza výsledek - deformace



Obr. 14 MKP analýza výsledek - napětí

#### 4.4 STAVITELNÝ DORAZ

Stavitelný doraz musí umožnit přeseřizení stroje na jinou roztaženou délku tlumiče. Současně vyráběné typy mají délky 520,4 - 545,2 mm. Nově zařazený typ mám roztaženou délku 580mm. Rozsah stavitelného dorazu je ca 80mm, což je dostatečné pro všechny plánované typy výrobků a není nutná změna.

## 5 POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

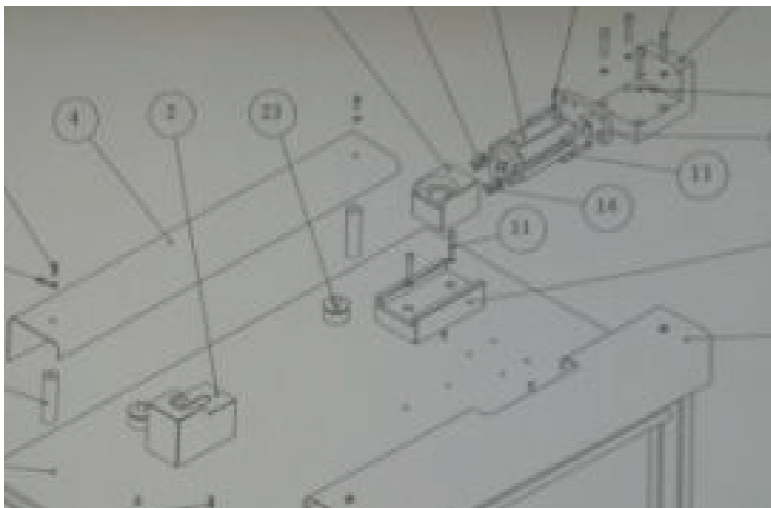
Jednotlivé navrhované úpravy stroje byly podrobně popsány v kapitole 4, včetně popisu vabraného nejvhodnějšího řešení. V této části práce bude vybrané konstrukční řešení stručně shrnuta.

Na stroj bude doplněn tenzometr pro měření reakční síly tlumiče, budou nahrazeny základací přípravky včetně detekce přítomnosti silentbloku, pneumatický válec, bude nutná úprava SW stroje, doplnění nového typu do programu tiskárny.

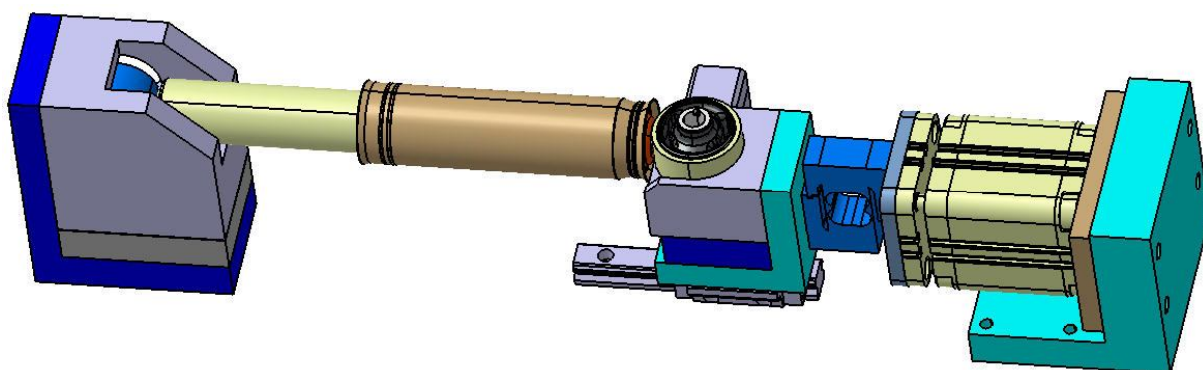
Po navrhované úpravě stroje bude pravá strana složená ze základacího přípravku a jeho držáku, lineárního vedení, snímače síly, pneumatického válce a dorazu. Na levé straně bude současný stavitelný doraz a základací přípravek a jeho držák.

Pro snímání síly bude použit tenzometr S2 500N od firmy HBM. Tento tenzometr má zabudovanou mechanickou ochranu proti přetížení, která je dostatečná v porovnání s očekávanými silami při stlačení tlumiče (očekávané síly ca 1000N, ochrana proti předpětí ca 3000N). Není tedy již nutné do konstrukce stroje zařazovat další mechanickou ochranu. Pneumatický válec bude nahrazen silnějším a to válcem ADVUL 63-50-P-A od firmy FESTO. Oba základací přípravky budou výměnné, zajištěné pomocí kolíků a aretačních čepů do kovových držáků. Toto řešení umožňuje snadnou a rychlou výměnu mezi jednotlivými typy. V obou přípravcích budou obsaženy senzory pro detekci přítomnosti silentbloků (shodné pro oba typy tlumičů) - na levé straně bude řešeno optickým snímačem, na pravé straně páčkou a indukčním snímačem. Současné základací přípravky bude možné zachovat, upravit (otvor pro optický senzor) a doplnit o kovovou desku s aretačními kolíky, které umožní upevnění v novém konceptu stroje. Stavitelný doraz na levé straně stroje svým rozsahem umožňuje použití pro všechny typy uvažovaných tlumičů a zůstane nezměněn.

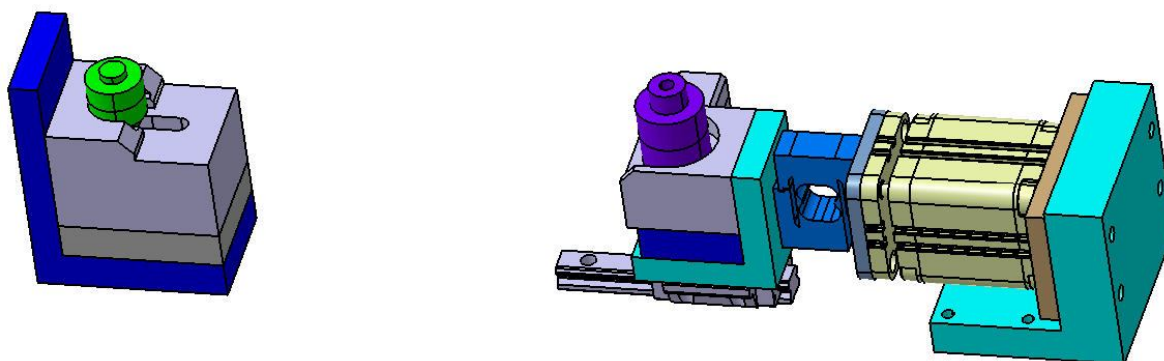
Původní i nový stav stroje jsou znázorněny na Obr 15-17. Výkresy sestavy a jednotlivých komponent jsou v přílohách.



Obr.15 Současný stav stroje



Obr. 16 Navrhované řešení pro nový typ tlumiče



Obr. 17 Navrhované řešení pro stávající typ tlumiče

Pravděpodobně bude nutná výměna také krytování stroje, doplnění dodatečného rozvaděče, protože stávající již nemá téměř žádné volné vstupy, doporučuji také posoudit výšku stroje a případně snížit základní rám stroje (pozice tlumiče je díky nutným úpravám přípravků a větší velikosti pneumatického válce ca o 8 cm výš). Tyto části nebyly v práci řešeny a při finálním konstrukčním řešení stroje bude vhodné je

analyzovat. Na stroji nebo v jeho blízkosti bude také vhodné definovat pozice pro výměnné přípravky.

Pracovní takt operace zůstane nezměněn. Nutná prodleva mezi stlačením tlumiče a měřením reakční síly (kvůli ustálení tlaků) bude probíhat v době tisku, lepení a kontroly štítku, neprodlouží tedy čas operace. Čas přeseřžení linky mezi jednotlivými typy se neprodlouží, protože přeseřžení na ostatních pracovištích linky je ca o 2 min, delší. Předpokládané prodloužení přeseřžení na pracovišti páskování je o ca 0,75-1 min.

V následující části práce je zpracována FMEA procesu. Její vypracování bylo požadováno vzhledem k velkému zásahu do stroje a procesu výroby. FMEA procesu (PFMEA) je nástroj pro analýzu možnosti vzniku vad v určitém výrobním procesu a jejich následků. Je možné ji použít již ve fázi přípravy procesu a na jejím základě např. definovat potřebné kontroly, které mají být implementovány do nového stroje. Analýza začíná generováním možných vad výrobku, které se na daném pracovišti mohou vyskytnout. K těm jsou poté přiřazeny možné následky, pravděpodobné příčiny vzniku a plánované nebo již prováděné preventivní kroky a dodatečné kontroly výrobku, které mohou určitou vadu odhalit. K hodnocení závažnosti, předpokládané četnosti vzniku a možnosti odhalení se využívá stupnice 1-10, kdy 1 je nejlepší hodnocení (tedy nejmenší riziko) a 10 nejhorší. Stupnice je uvedena v hodnotících tabulkách se slovním popisem, který usnadňuje volbu vhodného koeficientu. Rizikové číslo (označované jako RPN), které se vypočítá vynásobením uvedených 3 hodnot, se porovnává s předem definovanou hranicí. Při jejím překročení je třeba definovat nápravné opatření a riziko snížit. To je možné předcházením vzniku vady a tím snížením jejího výskytu nebo definováním dodatečných kontrol v procesu, které zvýší pravděpodobnost odhalení vady.

PFMEA je uvedena v Tab 6. Byla do ní zařazena nová rizika vzniku vad a dodatečné kontroly, které souvisí s rozšířením stroje. Žádné RPN nepřekračuje hranici, kterou má firma Monroe stanovenou na 75. Nejvyšší hodnotu RPN (48) dosáhla vada „Tlumič bez silentbloku“ - silentblok nenalísovaný z předchozí operace ve spojitosti se špatným vyhodnocením jeho přítomnosti čidlem. Poloha a upevnění čidel jsou navrženy tak, aby nedocházelo ke změně jejich polohy, případně poškození. Při výměně základacích přípravků, ale toto riziko existuje a proto bylo navrženo ověření správné funkce čidla před začátkem výroby a v průběhu každého výrobního cyklu. Další nejvyšší hodnota RPN je 42. Špatné vyhodnocení reakční síly (zde bylo navrženo obdobné opatření jako u snímačů přítomnosti silentbloku, tedy kontrola v každém cyklu stroje). Ostatní hodnoty RPN jsou velmi nízké, z čehož je zřejmé, že je tento krok procesu dobře zajištěn. Většina operací je kontrolována strojem, tedy s vysokou pravděpodobností odhalení.

FMEA je velmi dobrý analytický nástroj pro předvýrobní fázi. Je to však jen analýza a její výsledky je vždy nutné ověřit v praxi. Po úpravě stroje a uvedení do provozu bude tedy nutné FMEA znovu revidovat a vyhodnotit skutečné četnosti výskytu jednotlivých vad, případně doplnit vady skutečně vzniklé v procesu.

Tab 6: PFMEA operace páskování a kontroly reakční síly

Item / Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Class	Potential Cause(s)/ Mechanism (s) of failure	Occur Current action (P= preventive; D= detection)	Detection	RPN
Páskování tlumiče a kontrola reakční síly tlumiče	Nesprávný tlak plynu v tlumiči	Špatná funkce tlumiče	7		Únik plynu po naplynování; tlumič nenaplynován na správný tlak	2D: 100% kontrola reakční síly pístnice	2	28
					Špatně vyhodnocená reakční síla tlumiče	2P: Ověření správné funkce Jidoky na porovnávacím vzorku P: SW overeni nuly na snimaci síly na zacatku kazdeho cyklu	3	42
					Nesprávně nastavený předchozí proces plynování	2P: UP na procesu plynování D: 100% Strojní kontrola Jidoka	2	28
					Tlumič stlačen na nesprávnou délku (použit nesprávný základací přípravek)	2P: Tvar přípravků neumožňuje založení jiného typu D: Kontrola správnosti založení pomocí kontroly přítomnosti silentbloku	1	14
					NOK kus odeslán k zákazníkovi	2P: Sekvence stroje - při NOK reakční síle není tlumič uvolněn - tlačítko reset + separátor	2	28
	Tlumič bez montáže do silentbloku auta	Nemožnost montáže do silentbloku auta	8		Vynechání operace lisování silentbloku	2P: TD, lay-out (one piece flow) D: Jidoka na operaci páskování	2	32
					Špatné vyhodnocení - čidlo v zakládání (poškození nebo změna polohy při výměně přípravků)	3P: Konstrukce stroje P: Ověření správné funkce Jidoky na porovnávacím vzorku P: SW ověření - sepnutý spínač na začátku každého cyklu	2	48
	Poškození laku tlumiče	Snížená koroziodolnost	4		Poškození při zakládání	1P: Zakládací přípravky z plastu D: Vizuální kontrola	5	20



## 7 EKONOMICKÝ ROZBOR

Úprava stroje byla poptána u 3 firem zabývajících se výrobou jednoúčelových strojů. Nabídky jednotlivých firem jsou uvedeny v tabulce 7. Vzhledem k tomu, že navrhovaná řešení jednotlivých firem jsou navzájem velmi obdobná, bude při výběru dodavatele rozhodovat cena.

Tab 7: Přehled nabídek firem na úpravu stroje

Dodavatel	Nabízená cena
A	198.000 Kč
B	219.000 Kč
C	219.000 Kč

Předpokládaná cena nového stroje je ca 650.000 Kč.

Při použití a úpravě stávajícího stroje je možné využít řízení stroje, tiskárnu štítků a scanner, řízení stroje a rám stroje. Stávající čas cyklu stroje bude zachován a výrobní kapacita stroje je dostatečná pro současné i nový projekt.

Úprava stávajícího stroje se tedy jeví jako jednoznačně výhodnější.

Vybrané konstrukční řešení umožňuje efektivně využít stávající stroj, který bude po navržených úpravách plnit všechny požadované funkce. Oproti pořízení nového je to značná úspora finanční i úspora výrobního prostoru. Čas cyklu zůstane i po úpravě nezměněn a kapacity na stroji jsou dostatečné i pro výrobu nového projektu.

Reakční síla bude měřena pomocí tenzometru, který je zařazen mezi pneumatický válec a pravý zakládací přípravek. Bylo možné použít tenzometr dle požadavků zadavatele.

Na stroji je nutné zcela předělat zakládací přípravky. Současné provedení nevyhovuje s ohledem na velkou odlišnost průměrů ok a tvarů silentbloků. Jsou navrženy výměnné zakládací přípravky, upevněné pomocí kolíků do ocelových opěr. Toto řešení umožňuje rychlou výměnu přípravků a pevné založení dílu.

Navržené řešení bylo konzultováno se zadavatelem, který s ním souhlasí. Úprava stroje bude s největší pravděpodobností realizována v první polovině roku 2012.

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Noskievič, a kol.: Mechanika tekutin, SNTL, Praha, 1987
- [2] Doc. Ing. Josef Jenčík, CSc., Doc. Ing. Jaromír Volf, DrSc., a kolektiv: Technická měření; Vydavatelství ČVUT; 2003
- [3] Pešík, L.: Části strojů TUL Liberec, 2001
- [4] Prášil, L.: Části a mechanismy strojů, TUL Liberec, 1988
- [5] John C. Dixon, Ph.D, F.I.Mech.E., F.R.Ae.S.: The Shock Absorber Handbook; 2nd edition; John Wiley and Sons, Ltd. & Professional Engineering Publishing Ltd; 2007
- [6] Prof. Ing. František Vlk DrSc: Podvozky motorových vozidel; 3. vydání; Prof. Ing. František VLK, DrSc, nakladatelství a vydavatelství; 2006
- [7] Měření mechanických veličin - elektronická učebnice, dostupná z [http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/sila/sila\\_magneticke\\_snimace.htm](http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/sila/sila_magneticke_snimace.htm)
- [8] Pneumatické lineární pohony - Školicí materiály firmy SMC, dostupné z <http://2009.oc.smc-cee.com/sk/> - školicí materiály SMC - pneumatika
- [9] Beran, Jaroslav.: *Počítačem podporovaná konstrukce strojů II* (přednášky). Liberec : TUL, 2011
- [10] Snímače pro měření síly, tlaku, kroutícího momentu, zrychlení - prezentace k předmětu Experimentální metody, dostupná z <http://www.kst.tul.cz/podklady/experimentalnimetody/prednasky/prednaska8.pdf>
- [11] Katalogy pneumatických prvků a elektrických snímačů: Festo, HBM, Murtfeld